

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ ОПИСАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Приборы и принадлежности: цилиндрическое тело, кусок проволоки, масштабная линейка, штангенциркуль, микрометр.

Цель: научиться пользоваться измерительными приборами для определения линейных размеров предметов.

Необходимые теоретические сведения

В повседневной жизни – в быту, на производстве, в торговле и т.п. – довольно часто прибегают к измерению длины, ширины и толщины различных предметов и деталей, т.е. к определению их линейных размеров. Для простейших измерений широко применяются масштабные линейки, штангенциркули и микрометры.

Масштабная линейка. Для определения линейных размеров в пределах от одного сантиметра до нескольких метров часто используют масштабные линейки и рулетки с сантиметровыми и миллиметровыми делениями. Металлические линейки более прочные и точные, чем деревянные или пластмассовые, которые усыхают с течением времени и легко подвергаются разрушению. Точность линейки с миллиметровыми делениями составляет 0.5 мм.

Штангенциркуль. В различных отраслях производства, и в особенности в машиностроении, широко применяется штангенциркуль, позволяющий определить линейные размеры небольших деталей и предметов в пределах от 0 до 20 сантиметров с точностью до десятых и сотых долей миллиметра.

Штангенциркуль (рис.1) состоит из жесткой металлической линейки (штанги) **1** с миллиметровыми делениями и подвижной части **2** со штоком **3**, которая может передвигаться вдоль линейки. В линейке и подвижной части имеются выступы **4-7** для определения внешних **4,5** и внутренних **6,7** размеров деталей. Подвижная часть может закрепляться стопорным винтом **8**.

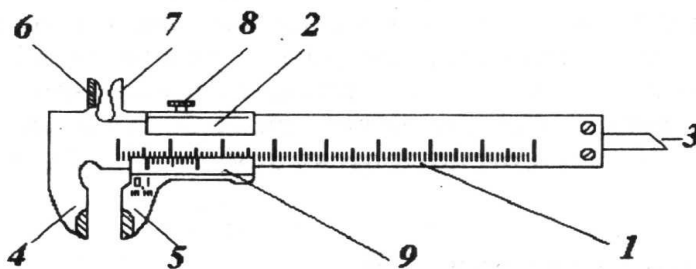


Рис.1

На подвижной части штангенциркуля нанесена вспомогательная шкала – *линейный нониус* **9** с делениями другого масштаба, чем деления основной шкалы (рис. 2.а). Нониус позволяет повысить точность измерений в 10 или 20 раз в зависимости от полного числа его делений. Отношение цены деления шкалы основной линейки к числу делений нониуса называется *точностью нониуса*. Точностью нониуса определяется абсолютная ошибка прибора, в котором применяется нониус. Число делений нониуса большинства модификаций штангенциркулей составляет 10 или 20, что позволяет измерять линейные размеры соответственно с точностью 0.1 или 0.05 мм.

Для примера рассмотрим как изготавливается нониус штангенциркуля, позволяющий измерять длину с точностью 0,1 мм:

- выбирают некоторый отрезок L основной шкалы (10 мм или 20 мм);
- длину шкалы нониуса l берут на 1 мм меньше, чем отрезок L основной шкалы (9мм или 19 мм); $L - l = 1$ мм.
- Шкалу нониуса делят на 10 равных частей. Тогда цена деления шкалы нониуса составит 0,9 мм (или 1,9 мм), т.е. на 0,1 мм меньше чем 1 мм (или 2 мм).

Если ножки штангенциркуля совмещены, то нули основной шкалы и нониуса должны совпадать. Если подвижную часть сдвинуть вправо так, чтобы первое деление шкалы нониуса совпадало с первым делением основной шкалы, то расстояние между ножками составит 0,1 мм (см.рис.2). Если же ножки сдвинуть так, чтобы второе деление нониуса совпало со вторым делением основной шкалы, то расстояние между ножками штангенциркуля (измеряемое расстояние) составит 0,2 мм (2 мм – $1,8$ мм = $0,2$ мм). Если измеряемое расстояние составит 0,8 мм, то восьмое деление шкалы нониуса совпадет с восьмым делением основной шкалы. Если измеряемая длина равна целому числу миллиметров, то нулевой штрих нониуса совпадет с каким – нибудь делением основной шкалы, остальные штрихи нониуса (за исключением последнего) не совпадают ни с одним из штрихов линейки. Если измеряемая длина содержит доли миллиметра, то *число десятых долей миллиметра можно определить по номеру штриха нониуса, совпадающего с каким – либо штрихом линейки.*

Измерение длины с помощью штангенциркуля производят следующим образом:

- измеряемое тело закрепляют (без нажима) между ножками основной линейки и подвижной части штангенциркуля (см.рис.3). Подвижная часть закрепляется винтом.
- по основной шкале определяют число целых миллиметровых делений, укладываемых от «0» основной шкалы до «0» нониуса – число **K**;
- по шкале нониуса находят деление, которое совпадает с любым каким – то делением основной шкалы – деление **n**;
- размер объекта $L = (K + 0,1 \cdot n)$ мм.

Пример 1. Нулевой штрих нониуса находится между 122 и 123 мм. Число К равно 122 мм. Если пятое деление шкалы нониуса совпадает с каким – нибудь делением основной линейки, то измеряемая длина равна 122,5 мм.

Пример 2. Показание штангенциркуля, представленное на рис. 4.б, соответствует 5.4 мм.



Рис.4

Задания.

С помощью штангенциркуля можно определить внешние и внутренние размеры деталей, например, внешний и внутренний диаметры трубок, а также глубину вырезов и отверстий посредством штока 3, длина выдвигающейся части которого равна расстоянию между выступами 4 и 5 штангенциркуля.

Порядок измерений с помощью приборов с линейным нониусом действителен и для приборов с угловым нониусом, которым снабжены, например, теолит и другие приборы.

Микрометр. Микрометр служит для определения внешних размеров небольших предметов и деталей в пределах от 0 до 25 мм с точностью до 0.01 мм.

Микрометр (рис.3) состоит из стальной скобы 1 с цилиндрическим упором 2 и подвижного цилиндрического стержня 3. Положение подвижного стержня фиксируется стопорным винтом 4. Микрометрический винт вращается внутри неподвижной втулки 5 с внутренней резьбой. Шаг резьбы обычно составляет 0.5 мм. На внешней поверхности втулки нанесена продольная шкала 6, состоящая из двух частей, разделенных горизонтальной линией. Нижняя часть служит для отсчета целого числа миллиметров, а верхняя – для отсчета половинных долей миллиметра. На обеих частях шкалы нанесены штрихи через 1 миллиметр. Штрихи верхней шкалы делят каждый миллиметр нижней шкалы пополам.

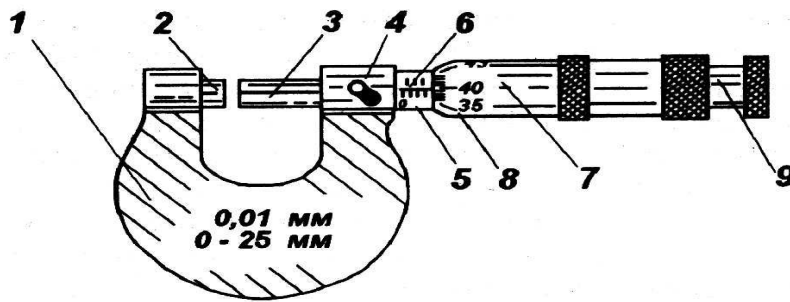


Рис.5

На микрометрический винт насажен удлиненный барабан 7, левая скошенная кромка которого перемещается относительно шкалы на втулке. На кромке барабана нанесена круговая шкала 8, содержащая 50 равных делений. На правом конце винта расположена фрикционная головка с трещоткой 9. Конструкция головки такова, что вращательное движение от трещотки передается винту посредством трения, благодаря чему при достижении определенной силы нажима цилиндрического стержня на упор или на измеряемый предмет дальнейшее вращение прекращается. При одном полном обороте барабан перемещает цилиндрический стержень на 0.5 мм, а поворот барабана на одно деление круговой шкалы соответствует 0.01 мм, т.е. 10 микрометрам, что и определяет точность прибора.

Перед началом измерений необходимо проверить нулевое положение микрометра, при котором плоскость упора 2 и подвижного стержня 3 соприкасаются друг с другом. Такое соприкосновение обеспечивается вращением по часовой стрелке с помощью фрикционной головки до появления характерного треска от трещотки. В нулевом положении настроенного микрометра нулевой штрих круговой шкалы барабана должен находиться против горизонтальной линии на неподвижной втулке. При нарушении нулевого положения микрометр следует настроить, что может сделать только специалист, или при обработке результатов следует учесть систематическую ошибку, вызванную отклонением от нулевого положения.

Во избежание нарушения настройки микрометра вращательное движение барабана следует осуществлять только с помощью фрикционной головки до появления треска.

Процедура измерения с помощью микрометра такова:

1. Проверьте нулевое положение микрометра.

P.S! Вращать микрометр следует только за головку с трещоткой!

Если нулевое положение нарушено, то:

- либо попросите преподавателя исправить прибор;
- либо запишите «нулевое значение» микрометра и учитывайте его в дальнейших измерениях.

2. Положите измеряемый предмет между плоскостями цилиндрического упора 2 скобы и подвижного цилиндрического стержня 3. Вращением фрикционной головки до появления треска зажмите предмет между упором и подвижным стержнем.

3. Отсчитайте число целых делений по линейной шкале. Т.к. цена деления шкалы равна 0,5 мм, то полученное число равно $n \cdot 0,5$ мм.

4. Отсчитайте число делений m барабана.

P.S! Деления отсчитываются от горизонтальной линии микрометра

5. Измеренная величина $L = (n \cdot 0,5 + m \cdot 0,01)$ мм.

Пример. По линейной шкале микрометра получено 7 целых делений, по шкале барабана – 12 делений. Измеренная длина равна $7 \cdot 0,5 \text{ мм} = 12 \cdot 0,001 \text{ мм} = (3,5 + 0,12) \text{ мм} = 3,62 \text{ мм}$. производится по нижней линейной шкале на втулке слева от скошенной кромки барабана и по круговой шкале. По нижней линейной шкале отсчитываются число целых миллиметров и их половинные доли, а по круговой шкале – сотые доли миллиметра.

При измерениях возможны два случая:

- Скошенная кромка барабана закрывает штрих верхней линейной шкалы. В этом случае показания микрометра складываются из целого числа миллиметров, отсчитанного по нижней линейной шкале до кромки барабана, и сотых долей миллиметра, отсчитанных по круговой шкале при совпадении ее штриха с горизонтальной линией продольной шкалы. Например, показание микрометра на рис.6,а соответствует $12 \text{ мм} + 0,33 \text{ мм} = 12,33 \text{ мм}$.
- Кромка барабана находится правее штриха верхней линейной шкалы, к показаниям нижней линейной шкалы и круговой шкалы прибавляется 0,5 мм. Например, на рис.6,б показание микрометра $13 \text{ мм} + 0,37 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} = 13,87 \text{ мм}$.

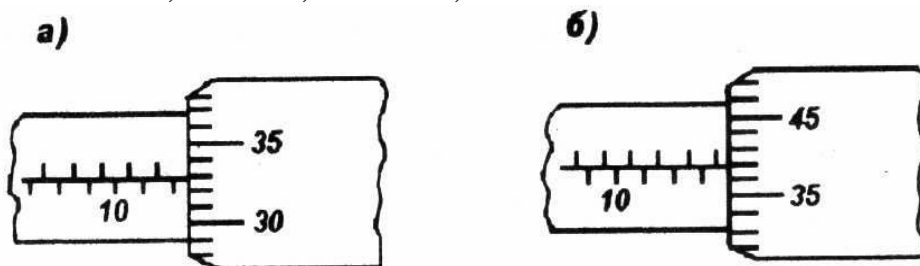


Рис.6

Если микрометр не настроен, в показаниях микрометра следует учесть поправку, компенсирующую систематическую ошибку.

Задание.

1. Установите на микрометре «нулевое» значение. Запишите «нулевое» значение микрометра.
2. Сделайте один оборот барабана и внимательно присмотритесь к делениям линейной шкалы. Риска верхней шкалы должна появиться полностью, если барабан винта совершит один полный оборот (50 делений по шкале барабана).
3. Сделайте еще один оборот винта и заметьте, как располагается край барабана относительно штриха нижней шкалы (она тоже должна появиться полностью).

ЗАДАНИЕ 1. ИЗМЕРЕНИЕ ДИАМЕТРА ПРОВОЛОКИ МИКРОМЕТРОМ

После получения допуска к выполнению данной лабораторной работы студенты самостоятельно измеряют микрометром диаметр проволоки и затем обрабатывают результаты измерений.

1. Проволока слегка деформирована, поэтому для более полного учета случайных ошибок диаметр измерьте не менее 10 раз и в разных местах проволоки.
2. Рассчитайте среднее значение диаметра:

$$\langle D \rangle = \frac{\text{сумма всех измерений}}{\text{число измерений}} = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n}$$

3. Определите абсолютную погрешность каждого измерения:

$$\Delta D_i = \langle D \rangle - D_i$$

4. Определите среднюю погрешность измерений:

$$\langle \Delta D \rangle = \frac{\text{сумма модулей погрешностей каждого измерения}}{\text{число измерений}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta D_i|$$

5. Запишите ответ в форме:

$$\text{Диаметр проволоки } D = (\langle D \rangle \pm \langle \Delta D \rangle) \text{ мм}$$

- 6.

Результаты измерений заносятся в табл.1, начерченную в лабораторной тетради.

Номер измерения i	Точность микрометра $\Delta \delta = \dots \text{мм}$	D_i , мм	$\langle D \rangle$, мм	ΔD_i , мм	$\langle \Delta D \rangle$, мм	D, мм

ЗАДАНИЕ 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ТЕЛА.

Определение объема цилиндрического тела – пример простейших косвенных измерений. С учетом результатов прямых измерений диаметра D и длины L цилиндрического тела его объем вычисляют по формуле:

$$V = \pi \cdot D^2 L / 4.$$

Диаметр цилиндрического тела измеряется микрометром, а его длина – штангенциркулем. Измерения диаметра производятся в разных местах цилиндрического тела.

Порядок выполнения задания:

1. Определить длину цилиндра (5 ÷ 10 раз). Определите среднее значение $\langle L \rangle$ и среднюю погрешность $\langle \Delta L \rangle$: $L = (\langle L \rangle \pm \langle \Delta L \rangle)$ мм.
2. Определите диаметр цилиндра D не менее 5 - 10 раз (измерения каждый раз производят в разных сечениях цилиндра). Определите среднее значение $\langle D \rangle$ диаметра цилиндра и абсолютную погрешность измерений $\langle \Delta D \rangle$: $D = (\langle D \rangle \pm \langle \Delta D \rangle)$.
3. Рассчитайте объем цилиндра по формуле

$$\langle V \rangle = \frac{\pi \langle D \rangle^2 \langle L \rangle}{4} \quad (1)$$

4. Абсолютная погрешность вычисления объема цилиндра рассчитывается как при косвенных измерениях (см. учебную литературу). Простейший способ дает выражение:

$$\Delta V = \langle V \rangle \cdot \left[\frac{2\langle \Delta D \rangle}{\langle D \rangle} + \frac{\langle \Delta L \rangle}{\langle L \rangle} \right] \quad (2)$$

При выводе формулы (2) мы пренебрегаем ошибкой в значении π , но для исключения дополнительной ошибки при округлении в числе π следует взять не менее пяти значащих цифр, т.е. $\pi = 3.1416$.

Номер измерения i	D _i , мм	ΔD _i , мм	L _i , мм	ΔL _i , мм
Средние значения	$\langle D \rangle = \dots$	$\langle \Delta D \rangle = \dots$	$\langle L \rangle = \dots$	$\langle \Delta L \rangle = \dots$
	Точность прибора для измерения диаметра $\delta_1 = \dots$ мм		Точность прибора для измерения длины $\delta_2 = \dots$ мм	

Окончательный результат представить в стандартной форме:

$$\text{Объем цилиндрического тела } V = (\langle V \rangle \pm \Delta V) \text{ мм}^3$$

Контрольные вопросы и упражнения

1. Для чего служит нониус в штангенциркуле?
2. Что такое точность нониуса?
3. Как изменится точность нониуса при увеличении числа его делений в два раза?
4. От чего зависит точность штангенциркуля?
5. Определите погрешность измерений с нониусом.
6. Какова цена деления нониуса?
7. Как сделать нониус, позволяющий измерять с точностью до 0,01 мм? Разумно ли это?
8. Какова точность штангенциркуля, с помощью которого производилось измерение длины цилиндрического тела?
9. Можно ли скомпенсировать ошибку микрометра, обусловленную смещением нулевого положения?
10. Можно ли считать абсолютно точными результаты измерений диаметра микрометром, если все десять его показаний совпали?
11. Как определяется абсолютная ошибка измерения диаметра проволоки, если все показания микрометра совпали?

12. Можно ли существенно повысить точность определения объема цилиндрического тела при увеличении числа измерений его диаметра и длины до 20 и более раз?

13. Длину предмета измеряли штангенциркулем пять раз. Результаты измерений: 6.2; 6.3; 6.4; 6.2 и 6.2 мм. Чему равны абсолютная и относительная ошибки измерений?

Литература:

1. Савельев И.В., Курс общей физики. Т.1 Механика. Молекулярная физика. – М.: Наука, 1986г.
2. А.С. Шубин “Курс общей физики”,
3. Р.И. Грабовский “Курс общей физики
4. Б.М.Яворский, А.А.Детлаф “Справочник по физике”, 1977
5. Е.И.Бутиков, А.А.Быков, А.С.Кондратьев “Физика”, 1982
6. А.В.Кортнев “Практикум по физике”,
7. Зисман Г.А. Тодес О.М. Курс общей физики, т.1. М.: 1969г.